УДК 621.313.12

ГЕНЕРИРОВАНИЕ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ЭЛЕКТРОМАШИННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Г.В. Носов

Томский политехнический университет
E-mail: nosov@elti.tpu.ru

Показана возможность применения электромашинных источников с периодически изменяющейся индуктивностью для питания автономных электрофизических установок сериями мощных импульсов тока. Показано, что эти генераторы превосходят ударные синхронные генераторы по мощности, а емкостные генераторы – по энергии импульса.

Современный уровень развития и применения импульсной техники требует использования мощных и надежных источников питания, способных работать в частотном режиме, особенно в автономных устройствах. В качестве таких источников как альтернатива ударным синхронным (генерирующим одиночные импульсы длительностью до 20 мс) и емкостным генераторам (имеющим при генерировании серий импульсов тока частотой до 25 Гц относительную запасаемую энергию до 3 Дж/кг) можно рассматривать электромашинные генераторы с периодически изменяющейся индуктивностью рабочих обмоток. Эти генераторы получили названия *compulsator* (компульсатор) и ARFC (*Active rotary flux compressor*) в США и компрессионный генератор – в СССР [1–3]. В США и СССР исследования импульсных генераторов с периодически изменяющейся индуктивностью были начаты с конца семидесятых годов XX в. В США изучались вопросы питания лазеров и заряда емкостных накопителей, а в СССР (НИИЭФА и ТПУ) проводились исследования по питанию различных видов нагрузок, в том числе и ускорителей. Так, в США с 1978 г. исследовательский Центр при Техасском университете выполнял программу по развитию электромеханических устройств для импульсного режима работы, которые были бы способны передать в нагрузку от 1 до 10 мДж за время менее чем 1 мс. В качестве таких устройств были выбраны генераторы с периодически изменяющейся индуктивностью для питания ксеноновых ламп накачки лазеров и заряда промежуточных емкостных накопителей.

Проведенные в США и СССР теоретические и экспериментальные исследования показали, что генераторы с периодически изменяющейся индуктивностью отличаются от других электрических машин более высокими параметрами серий импульсов тока – частота до 400 Гц, ток до 1 МА, напряжение до 100 кВ, длительность импульса тока на половине его амплитуды 0,1...1 мс, импульсная мощность до 10000 МВт, энергия импульса до 10 МДж, запасенная энергия вращающегося ротора до 100 МДж и более, относительные импульсные параметры до 60 Дж/кг и 100 кВт/кг при массе генератора до 100 т [1–3].

Такие генераторы без промежуточных накопителей и трансформаторов способны непосредственно питать лампы-вспышки лазеров, электромагнитные ускорители (пушки) тел массой до 40 г при скорости 10 км/с и более, электрогидравлические установки, импульсные электромагниты ускорителей и магнитронов. Из-за значительной длительности импульсов тока (0,1...1 мс) и недостаточного уровня напряжений (до 100 кВ) генераторы с периодически изменяющейся индуктивностью в системе питания ускорителей заряженных частиц могут применяться для зарядки промежуточных емкостных и индуктивных накопителей или для зарядки формирующей линии ускорителя через повышающий напряжение трансформатор.

В настоящее время известны ряд конструкций генераторов с периодически изменяющейся индуктивностью [1–3], содержащих:

а) две одинаковых рабочих обмотки, размещенные на неподвижном статоре и вращающемся роторе и соединенные между собой скользящим контактом;
б) одну рабочую обмотку, размещенную на статоре при явнополюсном ферромагнитном роторе;

в) одну рабочую обмотку, размещенную на статоре при явнополюсном монолитном немагнитном и проводящем роторе.

Возбуждение этих генераторов возможно при помощи специальных обмоток, запитанных постоянным или импульсным током от отдельного источника, или при помощи разряда конденсаторов через рабочие обмотки. Проведенные исследования позволяют сформулировать требования к конструкции генераторов, их возбуждению и схеме питания нагрузки для надежного и эффективного получения серий мощных импульсов тока:

а) необходимо обеспечить существенное изменение индуктивности рабочих обмоток генератора при их высокой добротности и достаточной электрической прочности изоляции;

б) конструкция должна обеспечить высокую механическую прочность всего генератора и отдельных его элементов, причем во вращающемся роторе генератора и возможном маховике должна запасаться достаточная энергия для генерирования серии импульсов тока;

в) система возбуждения генератора должна обеспечить частотно-пачечный режим генерирования мощных импульсов тока при достаточной мощности и энергоемкости источника возбуждения, причем цепи возбуждения и питания нагрузки должны содержать минимальное число коммутаторов.

Этим требованиям для питания нагрузок наиболее мощными импульсами тока удовлетворяет:

а) конструкция генератора вертикального исполнения с внешним ротором, содержащая две одинаковые рабочие обмотки с минимальным числом пар полюсов (p=1,2,4), размещенные на статоре и роторе, соединенные между собой при помощи щеток и контактных колец, причем вращающийся цилиндрический ротор и неподвижный цилиндрический статор должны быть изготовлены явнополюсными, ферромагнитными и шихтованными с одинаковыми открытыми широкими пазами;

б) импульсное возбуждение генератора разрядом предварительно заряженного от внешнего источника конденсатора C через его последовательно соединенные рабочие обмотки с индуктивностью $L(t)$ и нагрузку H, рис. 1.

При такой конструкции генератора суммарная индуктивность его рабочих обмоток может периодически изменяться в сотни раз при средней добротности в сотни единиц, что позволяет генерировать в нагрузке наиболее мощные импульсы тока. Однако наличие скользящего контакта, через который необходимо пропустить всю генерируемую мощность, и размещение одной из рабочих обмоток на вращающемся роторе, подверженной значительным механическим, электродинамическим и тепловым нагрузкам, ограничивает применение этой конструкции генератора. К тому же выполнить конструктивно генератор с внешним ротором весьма затруднительно.

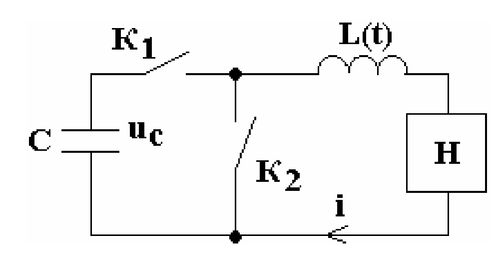


Рис. 1. *Электрическая схема возбуждения генератора*

На основании проведенных исследований была разработана конструкция генератора с вертикальным (p=2) и горизонтальным (p=4) внутренним цилиндрическим ротором и с периодически изменяющейся индуктивностью одной рабочей обмотки, размещенной на явнополюсном статоре. Этот генератор не имеет скользящего контакта и при значительной кратности изменения индуктивности его обмотки позволяет генерировать наиболее мощные сильноточные импульсы тока. Возбуждение осуществляется разрядом конденсатора через его рабочую обмотку и нагрузку, рис. 1, что обеспечивает генерирование мощных импульсов тока в нагрузках, где необходим первоначальный электрический пробой их рабочего пространства (ксеноновая лампа, дуговой разряд, электромагнитная пушка и др.).

В таблице приведены расчетные параметры восьмиполюсных (p=4) генераторов сильноточных импульсов при питании активной нагрузки и генерировании одного импульса, когда начальная индукция возбуждения в зазоре и статоре генератора достигает B_b=1,7 Тл, а энергия импульса составляет до 6 % от запасенной кинетической энергии вращающегося ротора. Относительные импульсные параметры этих генераторов достигают 50 Дж/кг и 60 кВт/кг, которые сопоставимы с аналогичными параметрами компульсаторов и превышают относительную импульсную мощность ударных синхронных генераторов (100 Дж/кг и 10 кВт/кг) [1–3]. На рис. 2 показаны характерные, рассчитанные на ПЭВМ с учетом насыщения стали относительные временные зависимости изменения индуктивности обмотки $\frac{L_k}{L_{1n}}$, генерируемого тока $\frac{i_k}{I_m}$ и индукции $\frac{B_k}{B_b}$ в статоре генератора.

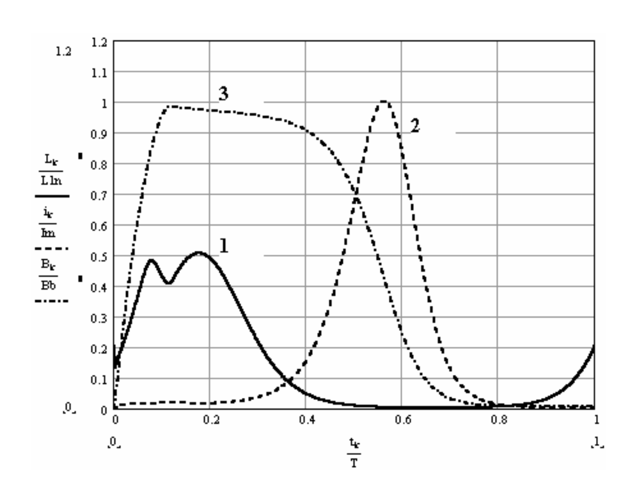


Рис. 2. *Относительные временные зависимости изменения: 1) индуктивности обмотки, 2) генерируемого тока и 3) индукции в статоре генератора*

Таблица. *Расчетные параметры генераторов*

Характеристики генераторов	Масса генератора, т			
	0,1	1	10	100
Обороты ротора, об/мин	12000	6000	3000	1500
Период изменения индуктивности *T*, мс	1,25	2,5	5	10
Кратность изменения индуктивности	68	110	145	210
Амплитуда тока I_m, кА	40	140	430	1350
Максимум мощности, МВт	6	60	460	3840
Длительность импульса тока, мс	0,25	0,5	1	2
Энергия импульса, кДж	1	20	300	4860
Энергия конденсатора, кДж	0,09	0,9	9	90
Повышение температуры обмотки, °С	1	3	7	16

Таким образом, электромашинные генераторы импульсов тока с периодически изменяющейся индуктивностью можно рассматривать как перспективные источники электромагнитной энергии для питания автономных электрофизических установок сериями импульсов, хотя их разработка, изготовление и применение требует решения многих научных и технологических проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов И.А., Кашарский Э.Г., Рутберг Ф.Г. Синхронные генераторы кратковременного и ударного действия. – Л.: Наука, 1985. – 224 с.
2. Физика и техника мощных импульсных систем / Сб. ст. под ред. акад. Е.П. Велихова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
3. Сипайлов Г.А., Лоос А.В., Чучалин А.И. Электромашинное генерирование импульсных мощностей в автономных режимах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 168 с.

УДК 621.311.016.001.24